



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

①2 Offenlegungsschrift
①0 DE 42 43 724 A 1

⑤1 Int. Cl.⁵:
G 05 D 3/12
B 23 Q 3/18
B 23 Q 16/00

②1 Aktenzeichen: P 42 43 724.5
②2 Anmeldetag: 23. 12. 92
④3 Offenlegungstag: 30. 6. 94

D3

DE 42 43 724 A 1

⑦1 Anmelder:
Tropf, Hermann, Dr.-Ing., 68789 St Leon-Rot, DE

⑦2 Erfinder:
gleich Anmelder

⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht zu ziehende Druckschriften:

DE 33 32 508 C2
DE 41 15 793 A1
DE 39 25 588 A1
DE 35 07 778 A1
DE 32 41 737 A1

IKEUCHI, Katsushi;
ROBERT, Jean-Christophe: Modeling Sensor
Detectability with the VANTAGE Geometric/Sensor
Modeler. In: IEEE Transactions on Robotics and
Automation, Vol. 7, No. 6, Dec. 1991, S. 771-784;
MILBERG, Joachim;
Karstedt, Klaus: Sensorsysteme für die Montage. In:
VDI-Z., Bd. 129, 1987, Nr. 7, Juli, S. 100-104;

WOLF, H.: Optisches Abtastsystem zur Identifi-
zierung und Lageerkennung dreidimensionale
Objekte in: Feinwerktechnik & Messtechnik,
87, 1979, Nr. 2, S. 86-88;
NEHR, Gerhard;
MARTINI, Peter: Die Kopplung eines
Werkstückerkennungssystems mit einem Industrie-
roboter. In: VDI-Z. 124, 1982, Nr. 10, Mai, S. 375-381;
NEHR, Gerhard, MARTINI, Peter: Drehlageerkennung
von Objekten mit optischen Sensoren. In: VDI-Z. 121,
1979, Nr., Mai, S. 477-483;

⑤4 Verfahren zur Positionierung von Werkstücken

⑤7 Zur Positionierung von Werkstücken in eine Sollposition
(translatorisch und/oder rotatorisch), mit Hilfe einer Kamera
eines Bildauswertesystems und einer Positioniereinrichtung,
wird im Gegensatz zum üblichen Verfahren nicht nur ein Bild
aufgenommen, sondern es werden unter Verdrehung und/
oder Verschiebung des Werkstücks sehr viele (typisch:
10...100) Bilder aufgenommen. In der ersten Ausgestaltung
werden diese Bilder alle abgespeichert, zusammen mit der
dazugehörigen Lageinformation; die aktuelle Werkstücklage
ergibt sich aus der Lageinformation zu dem Bild, das die
geringsten Abweichungen vom aktuellen Bild aufweist. In
der zweiten Ausgestaltung wird das Werkstück in der
Ausführungsphase verdreht und/oder verschoben, gleichzei-
tig werden ständig Bilder aufgenommen und mit einem
Referenzbild verglichen. In spezieller Ausgestaltung wird die
erste Ausgestaltung mit der zweiten Ausgestaltung kombi-
niert.

- kein F.b. von Beamb.-H.
⇒ - Position und
Lage des
WST
- kein Werkzeug

DE 42 43 724 A 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Positionierung von Werkstücken in eine Sollposition (translatorisch und/oder rotatorisch), mit Hilfe einer Kamera und eines Bildauswertesystems und einer Positioniereinrichtung.

Die Begriffe "Position" und "Positionierung" umfassen im folgenden stets sowohl Translation als auch Rotation.

Die Positionierung von Werkstücken geschieht i. a. durch eine Bestimmung der Position mittels Bildauswertesystem, und eine anschließende mechanische Verschiebung/Verdrehung entsprechend der so gewonnenen Positionsinformation.

Zur Erkennung und Lokalisierung von Werkstücken existieren sehr viele Vorschläge und auch bereits viele praktische Anwendungen.

Die bekannten Verfahren basieren darauf, ein einzelnes Bild in einer zufällig oder speziell gewählten mechanischen Positionierung aufzunehmen (oder wenige Bilder bei unterschiedlicher Beleuchtung und gleicher Werkstückposition), und aus einer wie auch immer garteten Analyse dieses Bildes die Lage des Werkstücks herzuleiten.

Die Positions- und Drehlagebestimmung geschieht elektronisch oder softwaremäßig rechnerisch durch Bilddrehung/Bildverschiebung oder durch eine entsprechende Koordinatentransformation auf extrahierte Bildmerkmale (Löcher, Ecken, Kanten ...), um die Merkmalspositionen mit zuvor generierten Referenzpositionen in Übereinstimmung zu bringen.

Große Sorgfalt muß bei praktisch eingesetzten Systemen entweder für eine geeignete Beleuchtung aufgewendet werden, oder es ist ein immenser Aufwand methodenseitig erforderlich, um bei "Normalbeleuchtung" zu ausreichend robusten Verfahren zu gelangen. Insbesondere die aus dem Bild extrahierten Merkmale sind erfahrungsgemäß starken beleuchtungs- und positionsabhängigen Störungen unterworfen (fehlende Merkmale, unterbrochene Merkmale, verfälschte Merkmalswerte), so daß unter Praxisbedingungen hohe Ansprüche an die Intelligenz des nachgeschalteten Interpretationsverfahrens gestellt werden müssen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein sehr einfaches Verfahren anzugeben, mit dem eine praxistaugliche, robuste Werkstückpositionierung mit wenig aufwendiger Beleuchtung möglich ist. Das Verfahren sollte für eine große Klasse von Werkstücken unverändert einsetzbar sein und geringe Ansprüche an die Handhabung durch das Bedienpersonal stellen.

Erfindungsgemäß wird im Gegensatz zum üblichen Verfahren nicht nur ein Bild aufgenommen, sondern es werden unter Verdrehung und/oder Verschiebung des Werkstücks sehr viele (typisch: 10 .. 100) Bilder aufgenommen. Die Verschiebung/Verdrehung des Bildes geschieht also nicht rechnerisch/elektronisch, sondern mechanisch. Dies hat den Vorteile daß die beleuchtungs- und positionsabhängigen Effekte mit eingelernt oder kompensiert werden können (s. u.).

In der ersten Ausgestaltung werden diese Bilder alle abgespeichert, zusammen mit der dazugehörigen Lageinformation. Das aktuell zu analysierende Bild wird mit all diesen Bildern verglichen. Die aktuelle Werkstücklage ergibt sich aus der Lageinformation zu dem Bild, das die geringsten Abweichungen vom aktuellen Bild aufweist.

In der zweiten Ausgestaltung wird das Werkstück in der Ausführungsphase mechanisch verdreht und/oder

verschoben, und gleichzeitig werden ständig Bilder aufgenommen und mit einem zuvor generierten Referenzbild verglichen. Zum Zeitpunkt der optimalen Übereinstimmung des aktuellen Bildes mit dem Referenzbild stimmt die momentane Werkstücklage mit der Referenzlage überein. Nach Abschluß dieses Vorgangs nimmt die Positioniereinrichtung die Stellung ein, in der die beste Übereinstimmung beim Bildvergleich vorlag.

In spezieller Ausgestaltung wird die erste Ausgestaltung mit der zweiten Ausgestaltung kombiniert, wie in Anspruch 4 beschrieben. Ein Beispiel soll dies verdeutlichen:

Die genaue Drehlagen-Positionierung von runden Teilen, wie z. B. Autorädern, kann in folgenden Schritten geschehen:

Schritt 1 Grob-Positionierung durch Vergleich des aktuellen Bildes mit einer Sammlung von zuvor aufgenommenen Referenzbildern, die in verschiedener Drehlage aufgenommen wurden, z. B. in 5-Grad Schritten. Aus der Lageinformation zu dem Bild mit der geringsten Abweichung ergibt sich die grobe Drehlage.

Schritt 2 Mechanisches Zurechtdrehen des Rades. Es ist nun auf ca. 5 Grad genau positioniert.

Schritt 3 Mechanisches Verdrehen des Rades in kleinen Schritten, innerhalb eines Intervalls von ca. 5 Grad, bei gleichzeitiger permanenter Bildaufnahme. Die permanent aufgenommenen Bilder werden mit einem speziellen Referenzbild verglichen. Die Stellung minimaler Abweichung entspricht der Referenzposition.

Grundsätzliche Vorteile des Verfahrens sind:

- Das System arbeitet zuverlässig auch bei inhomogener Beleuchtung; die Inhomogenitäten werden aufgrund der mechanischen Verdrehung — im Gegensatz zu der üblichen rein rechnerischen Verdrehung — mit eingelernt.

- selbst bei rotationssymmetrischen Teilen ergeben sich bei nicht exakt symmetrischer Beleuchtung normalerweise stellungsabhängige Schattierungs- und Reflexionseffekte; diese werden aufgrund der mechanischen Verdrehung mit eingelernt bzw. in der zweiten Ausgestaltung kompensiert.

- allgemeine, positionsabhängige Glanzlicht-Effekte werden mit eingelernt und stören daher das System nicht; eine völlig unsymmetrische Beleuchtung ist möglich.

- Mit ein und demselben, sehr einfachen Bildauswerteverfahren kann eine große Klasse von Werkstücken positioniert werden.

Als spezieller Vorteil der in Anspruch 4 und in obigem Beispiel geschilderten Ausgestaltung wird eine hohe Prozeßgeschwindigkeit (Auswertung relativ weniger Differenzbilder, wobei die Vergleichsbilder vorab erstellt wurden und die schrittweise mechanische Drehung bereits vorher beim Einlernen stattfand) mit einer hohen Positioniergenauigkeit (mechanische Drehung über nur einen kleinen Bereich, in sehr kleinen Schritten) kombiniert.

Patentansprüche

1. Verfahren zur translatorischen und/oder rotatorischen Positionierung von Werkstücken mit Hilfe einer Kamera, einer Bildauswerteeinheit, und einer Positioniereinrichtung, dadurch gekennzeichnet, daß

mit der Positioniereinrichtung entweder ein Referenzwerkstück oder das aktuell zu positionierende Werkstück in sehr viele unterschiedliche mechanische Positionen/Drehlagen gebracht wird und dort aufgenommen wird,

und daß ein Vergleich der so gewonnenen Bilder mit einem speziellen Bild des Werkstücks durchgeführt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß in der Lernphase sehr viele Referenzbilder aufgenommen und abgespeichert werden, zusammen mit der dazugehörigen Lageinformation, daß das aktuell zu analysierende Bild mit all diesen Bildern verglichen wird, und daß die aktuelle Werkstücklage aus der Lageinformation zu dem Bild entnommen wird, das die geringsten Abweichungen vom aktuellen Bild aufweist.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß in der Ausführungsphase das Werkstück mechanisch verdreht und/oder verschoben wird, wobei gleichzeitig ständig Bilder aufgenommen und mit einem in der Lernphase aufgenommenen Referenzbild verglichen werden,

und daß nach Abschluß dieses Vorgangs die Positioniereinrichtung die Stellung einnimmt, in der die beste Übereinstimmung beim Bildvergleich vorlag.

4. Verfahren nach Anspruch 1 bis 3, gekennzeichnet durch ein zweistufiges Vorgehen, wobei in der ersten Stufe entsprechend Anspruch 2 eine Grobpositionierung, und in der zweiten Stufe entsprechend Anspruch 3 eine Feinpositionierung durchgeführt wird.

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -